

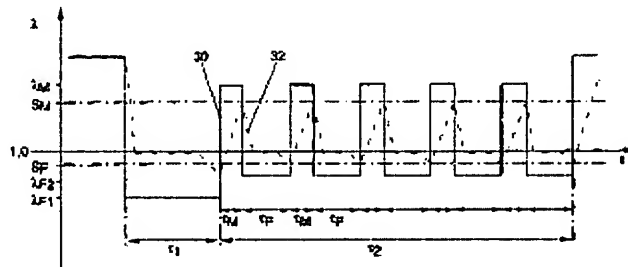
Two-stage process to remove sulfur from automotive exhaust system, comprises alternating rich and lean burn above threshold temperature

Patent number: DE10123148
Publication date: 2002-11-07
Inventor: POTT EKKEHARD (DE); HOLZ MATTHIAS (DE)
Applicant: VOLKSWAGENWERK AG (DE)
Classification:
- **International:** F01N9/00
- **european:** B01D53/94F2D; B01D53/94Y; F01N3/08B2;
F01N3/08B10B; F02D41/02C4D1A
Application number: DE20011023148 20010503
Priority number(s): DE20011023148 20010503

Report a data error here

Abstract of DE10123148

Two-stage process removes sulfur from an automotive exhaust system (14) with first (16) and second (18) NOx-storage catalytic pre-converters. When the pre-catalyst (16) reaches or exceeds the sulfur desorption temperature, a first phase is initiated ((1) and the motor (10) receives a first fuel-rich mixture which is maintained until the catalyst (18) is maintained in an oxygen-free condition. Two-stage process removes sulfur from an automotive exhaust system (14) with first (16) and second (18) NOx-storage catalytic pre-converters. When especially the pre-catalyst (16) reaches or exceeds the sulfur desorption temperature, a first phase is initiated ((1) in which the motor (10) receives a first fuel-rich mixture which is maintained until the catalyst (18) is maintained in an essentially oxygen-free condition. The first phase is then followed by a second ((2) in which the motor is operated for lean ((M) and rich ((F) periods at with alternating lean ((M) and second rich ((F2) air-fuel mixtures. An Independent claim is also included for a commensurate sulfur removal assembly.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 101 23 148 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁷:
F 01 N 9/00

②1 Aktenzeichen: 101 23 148.2
②2 Anmeldetag: 3. 5. 2001
④3 Offenlegungstag: 7. 11. 2002

DE 101 23 148 A 1

⑦1 Anmelder:
Volkswagen AG, 38440 Wolfsburg, DE

⑦4 Vertreter:
Schneider, H., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 10117 Berlin

⑦2 Erfinder:
Pott, Ekkehard, Dr., 38518 Gifhorn, DE; Holz,
Matthias, 38165 Lehre, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

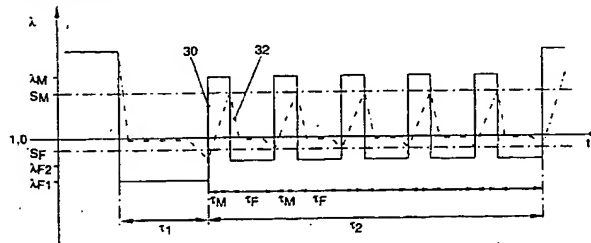
⑤4 Verfahren und Vorrichtung zur Entschwefelung eines Vorkatalysators

⑤7 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Entschwefeln zumindest eines in einem Abgaskanal (14) einer Verbrennungskraftmaschine (10) angeordneten Vorkatalysator (16), dem mindestens ein weiterer Katalysator (18), insbesondere ein NO_x-Speicherkatalysator, nachgeschaltet ist, sowie eine Vorrichtung mit Mitteln zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Es ist vorgesehen, dass bei Erreichen oder mit einem vorgebbaren Vorlauf vor Erreichen einer Temperatur des Vorkatalysators (16), die größer oder gleich einer minimalen Schwefel-Desorptionstemperatur des Vorkatalysators (16) ist,

(a) in einer ersten Phase (τ_1) die Verbrennungskraftmaschine (10) mit einem ersten fetten Verbrennungslambda (λ_{F1}) so lange betrieben wird, bis ein Sauerstoffspeicher des nachgeschalteten Katalysators (18) zumindest weitgehend sauerstofffrei ist, und

(b) in einer anschließenden zweiten Phase (τ_2) die Verbrennungskraftmaschine (10) alternierend in Magerintervallen (τ_M) mit einem mageren Verbrennungslambda (λ_M) und in Fettintervallen (τ_F) mit einem zweiten fetten Verbrennungslambda (λ_{F2}) betrieben wird.



DE 101 23 148 A 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Entschwefelung eines Vorkatalysators von Verbrennungskraftmaschinen mit den in den Oberbegriffen der unabhängigen Ansprüche 1 und 23 genannten Merkmalen.

[0002] Bekannte, zur Abgasreinigung eingesetzte Katalysatorsysteme umfassen häufig mindestens einen motornah angeordneten, kleinvolumigen Vorkatalysator und mindestens einen in einem Abgasweg weiter stromab angeordneten, größeren Hauptkatalysator. Die Katalysatorkomponenten können dabei als Oxidationskatalysatoren zur Konvertierung von unverbrannten Kohlenwasserstoffen HC und Kohlenmonoxid CO ausgestaltet sein, als Reduktionskatalysatoren zur Reduzierung von Stickoxiden NO_x oder als 3-Wege-Katalysatoren, welche die genannten oxidativen und reduktiven Konvertierungen gleichzeitig fördern. Im Falle magerlauffähiger Verbrennungskraftmaschinen kann der Hauptkatalysator zusätzlich mit einer NO_x -Speicherkomponente ausgestattet sein, die in mageren Betriebsphasen, in denen die Verbrennungskraftmaschine mit einem sauerstoffreichen Luft-Kraftstoff-Gemisch mit $\lambda > 1$ beaufschlagt wird, nicht konvertierbare Stickoxide NO_x in Form von Nitrat einspeichert und diese in zwischengeschalteten fetten Regenerationsintervallen wieder freisetzt und reduziert. Derartige Katalysatoren werden auch als NO_x -Speicherkatalysatoren bezeichnet.

[0003] Ein in der Abgasreinigung bekanntes Problem stellt in Kraftstoffen enthaltener Schwefel dar, der im Verbrennungsprozess nahezu vollständig zu Schwefeldioxid SO_2 verbrannt wird und sich in unterschiedlichen Formen an den verschiedenen Komponenten des Katalysatorsystems einlagert. Dieses Problem betrifft am stärksten die NO_x -Speicherkomponenten von NO_x -Speicherkatalysatoren, die SO_2 bei mageren Verbrennungslambdas mit einem nahezu 100%igen Einlagerungswirkungsgrad in Form von Sulfat speichern. Die Folge ist eine schleichende Desaktivierung der NO_x -Speicherfähigkeit des Speicherkatalysators (Schwefelvergiftung), welche eine Entwicklung verschiedener Entschwefelungsverfahren für NO_x -Speicherkatalysatoren erforderlich gemacht hat. Grundsätzlich wird der Katalysator zur Entschwefelung bei Katalysatortemperaturen von mindestens 650°C mit einer fetten Abgasatmosphäre beaufschlagt, um das eingespeicherte Sulfat zu desorbieren und hauptsächlich zu SO_2 und Schwefelwasserstoff H_2S zu reduzieren. Um einer Emission des geruchsintensiven H_2S entgegenzuwirken, ist ferner bekannt, statt der kontinuierlichen Fettbeaufschlagung des NO_x -Speicherkatalysators die Entschwefelung in alternierenden Mager-Fett-Intervallen durchzuführen. Bei geeigneter Intervallauslegung lässt sich so die gegenüber der SO_2 Bildung langsamere H_2S -Bildung nahezu vollständig unterdrücken.

[0004] Neben der Verschwefelung von NO_x -Speicherkomponenten kommt es – allerdings in geringerem Ausmaß – auch zu einer Einlagerung von Schwefel in andere Komponenten des Katalysatorsystems. Dieses sind im Wesentlichen Edelmetalle (Pt, Pd, Ru) der katalytischen Beschichtungen sowie sauerstoffspeichernde Komponenten OSC ("oxygen storage components"). Bei Katalysatortemperaturen, die oberhalb einer komponentenspezifischen Schwefel-Desorptionstemperatur liegen (etwa 400 bis 450°C bei OSC und etwa 500°C bei Edelmetallen), und unter einer fetten Abgasatmosphäre kann der eingelagerte Schwefel wieder ausgetrieben werden. Nachteilig hieran ist, dass der aus dem Vorkatalysator freigesetzte Schwefel zum Teil von dem nachgeschalteten Hauptkatalysator eingelagert wird. Handelt es sich bei diesem um einen NO_x -Speicherkatalysator, erfolgt die Einlagerung praktisch vollständig. Die Folge ist

eine häufige Entschwefelungsnotwendigkeit des Hauptkatalysators und ein hierdurch verursachter hoher Kraftstoffmehrerverbrauch.

[0005] Aus der älteren Anmeldung DE 100 59 791 ist ein Verfahren zur Entschwefelung eines Vorkatalysators bekannt, bei dem der eingelagerte Schwefel überwiegend in Form von Schwefelwasserstoff H_2S ausgetrieben wird, welcher unter den vorherrschenden Betriebsbedingungen, insbesondere bei einem sauerstofffreien Hauptkatalysator, nicht in den nachgeschalteten Hauptkatalysator einlagert, sondern diesen überwiegend passiert. Dafür wird die Verbrennungskraftmaschine zunächst so lange mit einem fetten Verbrennungslambda betrieben, bis der Hauptkatalysator weitgehend sauerstofffrei ist, und anschließend bei einem nur leicht fetten Verbrennungslambda der in den Vorkatalysator eingelagerte Schwefel ausgetrieben. Nachteilig an diesem Verfahren ist ein gewisser, mit dem fetten Betriebsmodus einhergehender Durchbruch der Reduktionsmittel HC und CO sowie die Emission von H_2S .

[0006] Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Entschwefelung eines Vorkatalysators zur Verfügung zu stellen, das zu einer möglichst geringen Verschwefelung eines nachgeschalteten Hauptkatalysators führt und eine Schadstoffemission von H_2S , HC und CO möglichst weitgehend reduziert. Ferner soll eine zur Durchführung des Verfahrens geeignete Abgasanlage vorgeschlagen werden.

[0007] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens mit den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche 1 und 23 gelöst. Nach dem erfindungsgemäßen Verfahren ist vorgesehen, dass bei Erreichen oder mit einem vorgebbaren Vorlauf vor Erreichen einer Temperatur des Vorkatalysators, die größer oder gleich einer minimalen Schwefel-Desorptionstemperatur des Vorkatalysators ist,

- (a) in einer ersten Phase die Verbrennungskraftmaschine mit einem ersten fetten Verbrennungslambda so lange betrieben wird, bis ein Sauerstoffspeicher des nachgeschalteten Katalysators zumindest weitgehend sauerstofffrei ist, und
- (b) in einer anschließenden zweiten Phase die Verbrennungskraftmaschine alternierend in Magerintervallen mit einem mageren Verbrennungslambda und in Fettintervallen mit einem zweiten fetten Verbrennungslambda betrieben wird.

[0008] Die Erfindung macht sich den Umstand zunutze, dass schwefelhaltige Abgaskomponenten, wie Schwefeldioxid SO_2 , die unter einer fetten, sauerstoffarmen Abgasatmosphäre aus dem Vorkatalysator freigesetzt werden, in nennenswertem Umfang nur in Gegenwart von Sauerstoff in sauerstoffspeichernde Komponenten (OSC) und/oder einen NO_x -Speicher des nachgeschalteten Katalysators eingespeichert werden, da die Speicherung zunächst eine Oxidation des Schwefels in eine sechswertige Oxidationsstufe erfordert. Daher erfolgt die Entschwefelung des Vorkatalysators in zwei Phasen, wobei in der ersten Phase des Verfahrens Sauerstoff aus dem gesamten Katalysatorsystem, insbesondere aus dem Sauerstoffspeicher des nachgeschalteten Katalysators, weitgehend entfernt wird und in der zweiten Phase der eigentliche Schwefelaustrieb aus den Vorkatalysator, speziell in Form von SO_2 , erfolgt.

[0009] Eine Sauerstoffspeicherkapazität des nachgeschalteten Katalysators sollte nach der ersten Phase (Sauerstoffentleerung) höchstens zu 20%, vorzugsweise zu weniger als 10%, belegt sein. Der Verlauf der Sauerstoffaustragung kann in einfacher Weise mittels einer stromab des nachge-

schalteten Katalysators angeordneten sauerstoffempfindlichen Messeinrichtung überwacht werden. Dabei kann es sich etwa um eine Lambdasonde oder, insbesondere im Falle eines NO_x -Speicherkatalysators, um einen mit einer Lambdamessfunktion ausgestatteten NO_x -Sensor handeln. Während dieser ersten Phase muss der Vorkatalysator noch nicht zwingend seine Schwefel-Desorptionstemperatur erreicht haben.

[0010] Vorteilhafterweise wird in der ersten Phase das Verbrennungslambda möglichst niedrig, das heißt möglichst sauerstoffarm, gewählt. Dabei haben sich insbesondere Lambdawerte von 0,7 bis 0,95, vorzugsweise von 0,8 bis 0,9, bewährt. Diese Lambdawerte führen zu einem besonders schnellen und erschöpfenden Sauerstoffaustrag aus dem Katalysatorsystem.

[0011] In der anschließenden zweiten Phase erfolgt eine wechselnde Beaufschlagung des Vorkatalysators mit einer mageren und fetten Abgasatmosphäre. Diese alternierende Mager-/Fettbeaufschlagung hat gegenüber einer kontinuierlichen Fettbeaufschlagung den Vorteil, dass durch die zwischengeschalteten Magerintervalle stets eine gewisse Menge Sauerstoff in den Vorkatalysator eingetragen wird und somit der in den Fettintervallen freigesetzte Schwefel überwiegend in Form von SO_2 ausgetragen wird. Hingegen kann eine Entstehung von H_2S auf diese Weise weitgehend unterdrückt werden. Dabei werden die Magerintervalle so ausgelegt, dass praktisch kein Sauerstoffdurchbruch durch den Vorkatalysator erfolgt, um eine erneute Sauerstoffeinlagerung in den oder die nachgeschalteten Katalysatoren zu vermeiden.

[0012] Die Begünstigung des SO_2 -Austrages kann durch geeignete Auslegung der Mager- und Fettintervalle der zweiten Phase noch gefördert werden. Hierfür können mehrere Varianten des Verfahrens eingesetzt werden. Nach einer besonders bevorzugten Ausgestaltung wird eine Umschaltung zwischen den Mager- und Fettintervallen lambdageregt durchgeführt. Dabei erfolgt eine Umschaltung von einem Magerintervall in ein Fettintervall, sobald stromab des Vorkatalysators ein Abgaslambda einen ersten vorgegebenen Schwellenwert, insbesondere einen mageren Schwellenwert, erreicht. Hingegen wird von einem Fettintervall in ein Magerintervall umgeschaltet, sobald das Abgaslambda stromab des Vorkatalysators einen zweiten vorgegebenen, insbesondere fetten Schwellenwert erreicht. Die Messung des Abgaslambdas erfolgt vorzugsweise mit einer stromab des Vorkatalysators angeordneten, sauerstoffempfindlichen Messeinrichtung, insbesondere einer Sprungantwort- oder Breitband-Lambdasonde. Mit Hilfe der Lambdaregelung kann sowohl der Sauerstoffeintrag in den Vorkatalysator während der Magerintervalle gut kontrolliert werden, als auch ein Durchbruch von Schadstoffen (CO und HC) weitgehend unterdrückt werden. Dabei haben sich für die Vorgabe des zweiten fetten Verbrennungslambdas der Fettintervalle nur leicht fette Lambdawerte besonders bewährt. Insbesondere führen Lambdawerte von 0,93 bis 0,995, vorzugsweise von 0,97 bis 0,99, zu besonders niedrigen Schadstoffdurchbrüchen und zu einer praktisch vollständigen Unterdrückung von H_2S .

[0013] Alternativ kann die Umschaltung zwischen den Mager- und Fettintervallen in der zweiten Phase auch zeitgesteuert unter Vorgabe fester Zeitintervalle erfolgen, wobei die gleichen Vorgaben des zweiten fetten Verbrennungslambdas wie bei der lambdageregelten Umschaltung gewählt werden können. Dabei hat sich eine Dauer der Fettintervalle zwischen 1 bis 20 s, insbesondere 2 bis 10 s, bewährt und eine Dauer der Magerintervalle zwischen 0,5 bis 10 s, insbesondere 2 bis 6 s. Als weitere Variante des Verfahrens kann die Umschaltung von dem Mager- in das Fett-

intervall auch spätestens dann erfolgen, sobald stromab des nachgeschalteten Katalysators ein mageres Abgaslambda gemessen wird.

[0014] Gemäß einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens ist vorgesehen, die zweite Phase so lange aufrecht zu halten, bis der Vorkatalysator zumindest weitgehend schwefelfrei ist, ehe die Entschwefelung beendet und die Verbrennungskraftmaschine wieder in den regulären Betriebsmodus geschaltet wird. Dafür kann etwa der Schwefeleintrag und/oder der Schwefelaustrag des Vorkatalysators kontinuierlich modelliert werden, so dass eine Schwefelgesamtbeladung des Vorkatalysators ermittelt werden kann. Eine Beendigung der zweiten Phase und Umschaltung der Verbrennungskraftmaschine in den regulären Magerbetrieb erfolgt vorteilhaft dann, wenn die Modellrechnung eine vorgegebene, beispielsweise weitgehend vollständige Schwefelentleerung des Vorkatalysators anzeigt. Die Modellierung des Schwefeleintrags und des Schwefelaustrags kann in bekannter, hier nicht näher zu erläuternder Weise anhand aktueller Betriebsparameter der Verbrennungskraftmaschine, insbesondere anhand der Verbrennungsparameter, erfolgen.

[0015] Die Temperatur des Vorkatalysators kann entweder mittels eines am, vor oder nach dem Vorkatalysator angeordneten Temperatursensors gemessen werden oder anhand einer Modellrechnung unter Berücksichtigung geeigneter Betriebsparameter ermittelt werden. Gemäß einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens erfolgt zudem eine Hochrechnung (Prognose) der Vorkatalysatortemperatur für eine gewisse zukünftige Zeitspanne. Wird durch die Hochrechnung ein Erreichen der Schwefel-Desorptionstemperatur innerhalb der Zeitspanne aufgrund eines besonders schnellen Temperaturanstieges prognostiziert, so kann die erste Phase der Entschwefelung des Vorkatalysators bereits eingeleitet werden, ehe dieser die Desorptionstemperatur erreicht hat. Auf diese Weise kann die Sauerstoffentfernung der ersten Phase des Verfahrens bereits unterhalb der Desorptionstemperatur einer oder aller Vorkatalysatorkomponenten teilweise oder sogar vollständig abgewickelt werden. Die Hochrechnung der Vorkatalysatortemperatur erfolgt vorzugsweise unter Berücksichtigung einer Stellung eines Pedalwertgebers (PWG) eines Gaspedals, einer Dynamik des Pedalwertgebers, einer Motordrehzahl, einer eingespritzten Kraftstoffmenge, der aktuellen Vorkatalysatortemperatur, einer Dynamik der Vorkatalysatortemperatur, der modellierten Schwefelbeladung des Vorkatalysators und/oder einer Sauerstoffspeicheraktivität des Vorkatalysators.

[0016] Nach einer besonders vorteilhaften Ausführung des Verfahrens können das erste und/oder das zweite fette Verbrennungslambda, das magere Verbrennungslambda und/oder der erste und/oder der zweite Schwellenwert in Abhängigkeit von den vorstehend genannten Parametern vorgegeben werden. Alternativ oder zusätzlich können die Lambda- und Schwellenvorgaben der ersten und der zweiten Phase unter Berücksichtigung eines Zustandes des nachgeschalteten Katalysators vorgegeben werden. Hier kommen vor allem eine Temperatur und/oder Temperaturdynamik, eine modellierte Schwefelbeladung, eine Konvertierungsaktivität und/oder eine Sauerstoffspeicheraktivität des nachgeschalteten Katalysators in Frage.

[0017] Da in einem üblichen Betrieb magerlauffähiger Verbrennungskraftmaschinen fette Betriebsintervalle aus verschiedensten Gründen regelmäßig notwendig werden, ist bevorzugt vorgesehen, eine solche "natürliche" fette Betriebsphase für die erfindungsgemäße Entschwefelung des Vorkatalysators zu nutzen und entsprechend der genannten Vorgaben auszugestalten, sofern die Vorkatalysatortemperatur die Schwefel-Desorptionstemperatur überschreitet. Auf

diese Weise kann die Entschwefelung des Vorkatalysators mit geringstem Kraftstoffverbrauch durchgeführt werden. Im Falle eines als NO_x -Speicherkatalysator ausgestalteten Hauptkatalysators kann insbesondere ein NO_x -Regenerationsintervall zur erfindungsgemäßen Entschwefelung des Vorkatalysators genutzt werden oder die Entschwefelung in unmittelbarem Anschluss an die Regeneration durchgeführt werden. Denkbar ist jedoch auch, Fettintervalle einer so genannten Zwangsamplitude eines stöchiometrischen Betriebes ($\lambda = 1$) bei 3-Wege-Katalysatorsystemen zu nutzen.

[0018] Eine weitere vorteilhafte Ausbildung des Verfahrens sieht vor, eine Schubabschaltung insbesondere in einem Betriebspunkt, bei dem ein durch einen Fahrer angefordertes Fahrwunschmoment kleiner als ein Schubmoment des Fahrzeuges ist, und/oder in Schaltpausen während eines Gangwechsels bei Getrieben mit Zugkraftunterbrechung während der Entschwefelung des Vorkatalysators zu unterdrücken. Auf diese Weise kann eine Beaufschlagung des Abgassystems mit dem sehr sauerstoffreichen Abgas der Schubabschaltung verhindert werden.

[0019] Die Erfindung umfasst ferner eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens, die eine stromab des Vorkatalysators angeordnete sauerstoffempfindliche Messeinrichtung vorsieht, und Mittel, mit denen die geschilderten Verfahrensschritte ausführbar sind. Diese Mittel umfassen eine Steuereinheit, in der ein Algorithmus zur Durchführung des Verfahrens in digitaler Form hinterlegt ist. Diese Steuereinheit kann besonders vorteilhaft auch in eine Motorsteuerung integriert sein.

[0020] Nach einer besonders bevorzugten Ausbildung der Vorrichtung ist der Vorkatalysator mit einer Speicherkomponente ausgestattet, die eine reversible Einlagerung von Schwefel aus einem mageren Abgas erlaubt. Durch die Verwendung einer solchen "Schwefelfalle", die in regelmäßigen Abständen durch das erfindungsgemäße Verfahren entschwefelt wird, wird erstmalig ein gezielter Schutz eines nachgeschalteten Katalysators, insbesondere eines NO_x -Speicherkatalysators, vor der für diesen besonders nachteiligen Schwefelvergiftung erzielt.

[0021] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den Merkmalen der übrigen Unteransprüche.

[0022] Die Erfindung wird nachfolgend in Ausführungsbeispielen anhand der zugehörigen Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

[0023] Fig. 1 eine Blockdarstellung einer Verbrennungskraftmaschine mit einer Abgasanlage und

[0024] Fig. 2 zeitliche Verläufe eines Verbrennungslambdas und eines stromab eines Vorkatalysators nach Fig. 1 gemessenen Abgaslambdas während einer Entschwefelung des Vorkatalysators nach dem erfindungsgemäßen Verfahren.

[0025] Der in Fig. 1 dargestellten Verbrennungskraftmaschine 10 ist eine insgesamt mit 12 bezeichnete Abgasanlage zugeordnet. Die Verbrennungskraftmaschine 10 ist besonders vorteilhaft mit einer nicht dargestellten Direkteinjection ausgestattet, mit welcher über Hochdruckeinspritzventile ein den Zylindern zuzuführender Kraftstoff direkt in die Zylinderbrennräume eingespritzt wird. Ferner ist die Verbrennungskraftmaschine 10 vorzugsweise schichtladefähig, wobei in einem Schichtladebetrieb sich der eingespritzte Kraftstoff zu einem Zündzeitpunkt im Wesentlichen im Bereich einer Zündkerze eines Zylinders in Form einer Schichtladungswolke konzentriert. Im Schichtladebetrieb lassen sich besonders magerer Luft-Kraftstoff-Gemische darstellen, wodurch ein sehr niedriger Kraftstoffverbrauch erzielt werden kann. Die Abgasanlage 12 umfasst einen Abgaskanal 14, in dem in einer motornahen Position ein klein-

volumiger Vorkatalysator 16, typischerweise ein 3-Wege-Katalysator, sowie in einer Unterbodenposition des Fahrzeuges ein großvolumiger Hauptkatalysator, insbesondere ein NO_x -Speicherkatalysator 18, angeordnet ist. Der Vorkatalysator 16 ist ferner mit einer im Einzelnen nicht dargestellten Schwefel-Speicherkomponente 17 ausgestattet, die in der Lage ist, in mageren Betriebsphasen der Verbrennungskraftmaschine 10 schwefelhaltige Abgaskomponenten einzulagern. Geeignete, an sich bekannte Speicherkomponenten umfassen beispielsweise Bariumsulfate. Dabei kann die Speicherkomponente 17 den katalytischen Bestandteilen der Beschichtung in homogener Verteilung zugemischt sein oder als räumlich separierter Katalysatorbestandteil ausgestattet sein.

[0026] Neben dem Katalysatorsystem 16, 18 beherbergt der Abgaskanal 14 verschiedene Gassensoren, die eine Konzentration mindestens einer Abgaskomponente im Abgas erfassen und der Regelung der Verbrennungskraftmaschine dienen. Stromauf des Speicherkatalysators 16 ist eine Lambdasonde, vorzugsweise eine Breitband-Lambdasonde, angeordnet. Diese misst eine Sauerstoffkonzentration des Abgases und dient der Regelung des der Verbrennungskraftmaschine 10 zuzuführenden Luft-Kraftstoff-Gemisches (Verbrennungslambda). Eine dem Vorkatalysator 16 nachgeschaltete Lambdasonde 22 kann entweder als Sprungantwort- oder als Breitband-Lambdasonde ausgebildet sein. Sie dient in noch zu erläuternder Weise der Steuerung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Entschwefelung des Vorkatalysators 16 beziehungsweise seiner Schwefel-Speicherkomponente 17. Ein weiterer Gassensor 24 ist stromab des NO_x -Speicherkatalysators 18 angeordnet und kann ein NO_x -Sensor oder ebenfalls eine Lambdasonde sein. Der Abgaskanal 14 kann ferner Temperatursensoren beherbergen, die eine Abgastemperatur oder eine Katalysatortemperatur messen. Die Katalysatortemperaturen können alternativ auch in Abhängigkeit geeigneter Betriebsparameter der Verbrennungskraftmaschine 10 modelliert werden. Alle, von den Sensoren bereitgestellten Signale sowie ausgewählte Betriebsparameter der Verbrennungskraftmaschine 10 finden Eingang in eine Motorsteuerung 28, welche die Signale digitalisiert und weiterverarbeitet und einen Betriebsmodus der Verbrennungskraftmaschine 10, insbesondere das Verbrennungslambda, den Schichtladebetrieb sowie eine Abgasrückführate, in Abhängigkeit der Signale steuert. Eine Steuereinheit 26 ist in die Motorsteuerung 28 integriert und umfasst einen abgespeicherten Algorithmus zur Durchführung des Verfahrens zur Entschwefelung des Vorkatalysators 16.

[0027] Während eines mageren Betriebs der Verbrennungskraftmaschine 10, insbesondere eines mageren Schichtladebetriebes, werden im Kraftstoff enthaltene Schwefelkomponenten nahezu vollständig zu Schwefeldioxid SO_2 umgesetzt. Das SO_2 wird an den katalytischen Edelmetallkomponenten des Vorkatalysators 16 im sauerstoffreichen Abgas weiter oxidiert und lagert mit annähernd 100%igem Wirkungsgrad in der Speicherkomponente 17 oder in andere schwefelspeichernde Bestandteile des Vorkatalysators 16 in Form von Sulfat ein. Wird eine Temperatur des Vorkatalysators 16 erkannt, die annähernd einer Schwefel-Desorptionstemperatur der Speicherkomponente 17 entspricht oder diese in Kürze erreichen wird, leitet die Steuereinheit 26 eine Entschwefelung des Vorkatalysators 16 ein.

[0028] Der Ablauf des Verfahrens ist in Fig. 2 anhand des zeitlichen Verlaufes des mit der Lambdasonde 20 gemessenen Verbrennungslambdas (Kurve 30) sowie des mit der Lambdasonde 22 stromab des Vorkatalysators 16 gemessenen Abgaslambdas (Kurve 32) dargestellt. Zunächst wird die Verbrennungskraftmaschine 10 im üblichen Schichtladebetrieb mit einem mageren Verbrennungslambda betrie-

ben (oder gegebenenfalls im stöchiometrischen Homogenbetrieb). Mit einem gewissen Vorlauf vor Erreichen der Schwefel-Desorptionstemperatur des Vorkatalysators 16 wird eine erste Phase τ_1 der Entschwefelung eingeleitet und die Verbrennungskraftmaschine 10 mit einem ersten fetten Verbrennungslambda λ_{F1} , welches vorzugsweise zwischen 0,8 und 0,9 liegt, betrieben. Kurz nach Umschalten der Verbrennungskraftmaschine 10 fällt auch das Abgaslambda 32 stromab des Vorkatalysators 16 steil ab und verharrt für eine gewisse Dauer bei $\lambda = 1$. In dieser Phase werden die im fetten Abgas vorhandenen Reduktionsmittel (HC, CO) vollständig verbraucht, bis ein Sauerstoffspeicher des Vorkatalysators 16 entleert ist. Erst danach beginnt fettes Abgas durch den Vorkatalysator durchzubrechen, so dass die Lambdasonde 22 zunehmend fetteres Abgas detektiert und das Abgaslambda 32 auf Werte < 1 sinkt. Die erste Phase τ_1 wird beendet, wenn der Gassensor 24 stromab des NO_x -Speicherkatalysators 18 ebenfalls fettes Abgas misst (Verlauf nicht dargestellt). Zu diesem Zeitpunkt ist sichergestellt, dass das gesamte Katalysatorsystem zumindest weitgehend oder vollständig sauerstofffrei ist.

[0029] In einer anschließenden zweiten Phase τ_2 , in welcher der Vorkatalysator 16 die minimale Schwefel-Desorptionstemperatur zumindest nahezu bereits erreicht hat, so dass der eigentliche Schwefelaustrag erfolgt, wird die Verbrennungskraftmaschine 10 wechselweise mit einem mageren Verbrennungslambda λ_M und einem zweiten fetten Verbrennungslambda λ_{F2} betrieben. Während eines ersten Magerintervalls τ_M wird das magere Verbrennungslambda λ_M , das vorteilhaft 1,01 bis 1,2, vorzugsweise 1,04 bis 1,08, beträgt, eingestellt, um eine gewisse Sauerstoffeinlagerung in den Vorkatalysator 16 zu bewirken. Infolgedessen beginnt das stromab des Vorkatalysators 16 gemessene Abgaslambda 32 anzusteigen und sich einem vorgegebenen Schwellenwert S_M , der zwischen $\lambda = 1,0$ und λ_M liegt, zu nähern. Sobald die Lambdasonde 22 ein dem Schwellenwert S_M entsprechendes Abgaslambda misst, wird die Verbrennungskraftmaschine 10 in ein Fettintervall τ_F mit dem zweiten fetten Verbrennungslambda λ_{F2} , das vorteilhaft 0,93 bis 0,995, vorzugsweise 0,97 bis 0,99, beträgt, umgeschaltet. Folglich sinkt das Abgaslambda 32 stromab des Vorkatalysators 16 erneut ab und verharrt wiederum für eine gewisse Dauer bei $\lambda = 1$. In dieser Phase wird das in der Schwefel-Speicherkomponente 17 eingelagerte Sulfat mittels der im Abgas vorhandenen Reduktionsmittel reduziert und freigesetzt. Durch den in dem vorausgegangenen Magerintervall τ_M eingelagerten Sauerstoff wird dabei gewährleistet, dass die Reduzierung auf der Oxidationsstufe des Schwefeldioxids SO_2 (+IV) stehen bleibt und nicht vollständig bis zur Stufe des Schwefelwasserstoffs H_2S (-II) abläuft. Ein hierfür geeigneter Grad der Sauerstoffbeladung des Vorkatalysators 16 wird in erster Linie durch die Vorgabe des Schwellenwertes S_M während des Magerintervalls τ_M eingestellt. Ab einem gewissen Punkt des Fettintervalls τ_F werden die Reduktionsmittel des Abgases nicht mehr vollständig zur Umsetzung des Sulfats verbraucht, so dass das Abgaslambda 32 allmählich auf einen fetten Lambdawert < 1 absinkt. Sobald das Abgaslambda 32 einen zweiten Schwellenwert S_F erreicht, der zwischen $\lambda = 1,0$ und λ_{F2} liegt, wird die Verbrennungskraftmaschine 10 erneut mit dem mageren Verbrennungslambda λ_M betrieben. Weitere magere und fette Intervalle τ_M , τ_F schließen unter analoger Steuerung an.

[0030] Das während der zweiten Phase τ_2 aus dem Vorkatalysator 16 ausgetragene SO_2 erreicht zwar den nachgeschalteten NO_x -Speicherkatalysator 18, kann diesen jedoch ohne einzulagern passieren. Die Einlagerung des Schwefels in den NO_x -Speicherkatalysator 18 in Form von Sulfat erfordert nämlich zunächst die Oxidation von SO_2 zu SO_3 und

somit die Gegenwart von Sauerstoff. Dieser Sauerstoff steht jedoch nicht zur Verfügung, da während der ersten Phase τ_1 der Sauerstoffspeicher des NO_x -Speicherkatalysators 18 entleert wurde und selbst in den anschließenden Magerintervallen τ_M nahezu kein Sauerstoff den Speicherkatalysator 18 erreicht hat.

[0031] Durch das erfindungsgemäße Verfahren wird erreicht, dass nahezu der gesamte, in den Vorkatalysator 16 eingelagerte Schwefel in Form von SO_2 freigesetzt wird, ohne nachfolgend zu einer erneuten Schwefeleinlagerung in den hierfür besonders empfindlichen NO_x -Speicherkatalysator 18 zu führen. Hierdurch werden die äußerst kraftstoffzehrenden Entschwefelungen des NO_x -Speicherkatalysators 18, die aufgrund der hierfür erforderlichen sehr hohen Katalysatortemperaturen nämlich stets motorwirkungsgradvermindernde Maßnahmen erfordern und somit zu einem erheblichen Kraftstoffmeherverbrauch führen, in größeren Abständen notwendig. Ferner wird durch die diskontinuierliche Mager-/Fettbeaufschlagung während der zweiten Phase τ_2 die Bildung und Emission von geruchsintensivem und schädlichem H_2S nahezu vollständig unterdrückt und auch der Durchbruch von den Reduktionsmitteln HC und CO geringgehalten. Insgesamt zeichnet sich das Verfahren daher durch äußerst geringe Schadstoffemissionen aus. Darüber erlaubt das Verfahren erstmalig eine gezielte Auslegung des Vorkatalysators 16 als "Schwefelfalle". Hierdurch kann der NO_x -Speicherkatalysator 18 nahezu umfassend vor Schwefelvergiftungen geschützt werden und praktisch vollständig auf die andernfalls erforderlichen Entschwefelungen des Speicherkatalysators 18 verzichtet werden.

BEZUGSZEICHENLISTE

- 10 Verbrennungskraftmaschine
- 12 Abgasanlage
- 14 Abgaskanal
- 16 Vorkatalysator
- 17 Schwefel-Speicherkomponente
- 18 nachgeschalteter Katalysator/ NO_x -Speicherkatalysator
- 20, 22 sauerstoffempfindliche Messeinrichtung/Lambdasonde
- 24 sauerstoffempfindliche Messeinrichtung/ NO_x -Sensor
- 26 Steuereinheit
- 28 Motorsteuergerät
- 30 Verbrennungslambda
- 32 Abgaslambda stromab des Vorkatalysators
- λ Luft-Kraftstoff-Verhältnis Lambda
- λ_{F1} erstes fettes Verbrennungslambda
- λ_M mageres Verbrennungslambda
- λ_{F2} zweites fettes Verbrennungslambda
- S_F zweiter Schwellenwert
- S_M erster Schwellenwert
- t Zeit
- τ_1 erste Phase (Sauerstoffentfernung)
- τ_2 zweite Phase (Entschwefelung)
- τ_F Fettintervall
- τ_M Magerintervall

Patentansprüche

1. Verfahren zum Entschwefeln zumindest eines in einem Abgaskanal (14) einer Verbrennungskraftmaschine (10) angeordneten Vorkatalysators (16), dem mindestens ein weiterer Katalysator (18), insbesondere ein NO_x -Speicherkatalysator, nachgeschaltet ist, dadurch gekennzeichnet, dass bei Erreichen oder mit einem vorgebbaren Vorlauf vor Erreichen einer Temperatur des Vorkatalysators (16), die größer oder gleich ci-

ner minimalen Schwefel-Desorptionstemperatur des Vorkatalysators (16) ist,

- (a) in einer ersten Phase (τ_1) die Verbrennungskraftmaschine (10) mit einem ersten fetten Verbrennungslambda (λ_{F1}) so lange betrieben wird, bis ein Sauerstoffspeicher des nachgeschalteten Katalysators (18) zumindest weitgehend sauerstofffrei ist, und
 - (b) in einer anschließenden zweiten Phase (τ_2) die Verbrennungskraftmaschine (10) alternierend in Magerintervallen (τ_M) mit einem mageren Verbrennungslambda (λ_M) und in Fettintervallen (τ_F) mit einem zweiten fetten Verbrennungslambda (λ_{F2}) betrieben wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Magerintervalle (τ_M) und die Fettintervalle (τ_F) der zweiten Phase (τ_2) derart bemessen werden, dass in den Vorkatalysator (16) eingelagerter Schwefel überwiegend in Form von Schwefeldioxid (SO_2) ausgetrieben wird.
 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass in der zweiten Phase (τ_2) eine Umschaltung von einem Magerintervall (τ_M) in ein Fettintervall (τ_F) erfolgt, sobald stromab des Vorkatalysators (16) ein Abgaslambda einen ersten vorgegebenen Schwellenwert (S_M) erreicht, und eine Umschaltung von einem Fettintervall (τ_F) in ein Magerintervall (τ_M) erfolgt, sobald stromab des Vorkatalysators (16) das Abgaslambda einen zweiten vorgegebenen Schwellenwert (S_F) erreicht.
 4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Abgaslambda stromab des Vorkatalysators (16) mit einer sauerstoffempfindlichen Messeinrichtung (22), insbesondere mit einer Lambdasonde, gemessen wird.
 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Schwellenwert (S_M) ein Lambdawert zwischen 1,0 und dem mageren Verbrennungslambda (λ_M) und der zweite Schwellenwert ein Lambdawert zwischen 1,0 und dem zweiten fetten Verbrennungslambda (λ_{F2}) ist.
 6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine Umschaltung zwischen den Magerintervallen (τ_M) und den Fettintervallen (τ_F) in der zweiten Phase (τ_2) zeitgesteuert erfolgt.
 7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass eine Dauer der Fettintervalle (τ_F) 1 bis 20 s, insbesondere 2 bis 10 s, beträgt und eine Dauer der Magerintervalle (τ_M) 0,5 bis 10 s, insbesondere 2 bis 6 s.
 8. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass in der zweiten Phase (τ_2) eine Umschaltung von dem Magerintervall (τ_M) in das Fettintervall (τ_F) spätestens dann erfolgt, sobald stromab des nachgeschalteten Katalysators (18) ein mageres Abgaslambda gemessen wird.
 9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das zweite fette Verbrennungslambda (λ_{F2}) der Fettintervalle (τ_F) 0,93 bis 0,995, insbesondere 0,97 bis 0,99, beträgt.
 10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das magere Verbrennungslambda (λ_M) in der zweiten Phase (τ_2) 1,01 bis 1,2, insbesondere 1,04 bis 1,08, beträgt.
 11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Phase (τ_1) so lange aufrecht erhalten wird, bis eine Sauerstoffspeicherkapazität des nachgeschalteten Katalysators (18) höchstens zu 20%, insbesondere zu weniger

als 10%, belegt ist.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die zumindest weitgehende Entleerung des Sauerstoffspeichers des nachgeschalteten Katalysators (18) mittels einer diesem nachgeschalteten, sauerstoffempfindlichen Messeinrichtung (24) überwacht wird.
13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das erste fette Verbrennungslambda (λ_{F1}) der ersten Phase (τ_1) 0,7 bis 0,95, insbesondere 0,8 bis 0,9, beträgt.
14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die zweiten Phase (τ_2) so lange aufrecht erhalten wird, bis der Vorkatalysator (16) zumindest weitgehend schwefelfrei ist.
15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass anhand einer modellierten Schwefelbeladung des Vorkatalysators (16) ein Ende der zweiten Phase (τ_2) bestimmt wird.
16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Schwefelbeladung in Abhängigkeit eines anhand aktueller Betriebsparameter der Verbrennungskraftmaschine (10) modellierten Schwefeleintrages und/oder Schwefelaustrages des Vorkatalysators (16) ermittelt wird.
17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Temperatur des Vorkatalysators (16) gemessen oder anhand einer Modellrechnung ermittelt wird.
18. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Temperatur des Vorkatalysators (16) für eine vorgegebene Zeitspanne hochgerechnet wird und die erste Phase (τ_1) eingeleitet wird, noch ehe der Vorkatalysator (16) die Schwefel-Desorptionstemperatur erreicht hat, wenn durch die Hochrechnung ein zukünftiges Erreichen der Schwefel-Desorptionstemperatur innerhalb der Zeitspanne erkannt wird.
19. Verfahren nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass die Hochrechnung der Vorkatalysatortemperatur unter Berücksichtigung einer Stellung eines Pedalwertgebers eines Gaspedals, einer Dynamik des Pedalwertgebers, einer Motordrehzahl, einer eingespritzten Kraftstoffmenge, einer aktuellen Vorkatalysatortemperatur, einer Dynamik der Vorkatalysatortemperatur, der modellierten Schwefelbeladung des Vorkatalysators (16) und/oder einer Sauerstoffspeicheraktivität des Vorkatalysators (16) erfolgt.
20. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das erste fette Verbrennungslambda (λ_{F1}), das zweite fette Verbrennungslambda (λ_{F2}), das magere Verbrennungslambda (λ_M), der erste Schwellenwert (S_M) und/oder der zweite Schwellenwert (S_F) in Abhängigkeit von der Stellung des Pedalwertgebers des Gaspedals, der Dynamik des Pedalwertgebers, der Motordrehzahl, der eingespritzten Kraftstoffmenge, der Vorkatalysatortemperatur, der Dynamik der Vorkatalysatortemperatur, der modellierten Schwefelbeladung des Vorkatalysators (16), der Sauerstoffspeicherfähigkeit des Vorkatalysators (16), einer Temperatur und/oder Temperaturdynamik des nachgeschalteten Katalysators (18), einer modellierten Schwefelbeladung des nachgeschalteten Katalysators (18), einer Konvertierungsaktivität des nachgeschalteten Katalysators (18) und/oder einer Sauerstoffspeicheraktivität des nachgeschalteten Katalysators (18) vorgegeben wird.
21. Verfahren nach einem der vorhergehenden An-

sprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Entschwefelung des Vorkatalysators (16) zumindest teilweise in eine NO_x-Regeneration des nachgeschalteten NO_x-Speicherkatalysators (18) fällt oder in unmittelbarem Anschluss durchgeführt wird.

22. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Schubabschaltung während der Entschwefelung des Vorkatalysators (16) unterdrückt wird.

23. Vorrichtung zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 22 zur Entschwefelung zumindest eines in einem Abgaskanal (14) einer magerlauffähigen Verbrennungskraftmaschine (10) angeordneten Vorkatalysators (16), dem mindestens ein weiterer Katalysator (18), insbesondere ein NO_x-Speicherkatalysator, nachgeschaltet ist, gekennzeichnet durch einen stromab des Vorkatalysators (16) angeordneten sauerstoffempfindlichen Gassensor (22) und Mittel, mit denen bei Erreichen oder mit einem vorgebbaren Vorlauf vor Erreichen einer Temperatur des Vorkatalysators (16), die größer oder gleich einer minimalen Schwefel-Desorptionstemperatur des Vorkatalysators (16) ist, die Verfahrensschritte

(a) Betreiben der Verbrennungskraftmaschine (10) in einer ersten Phase (τ_1) mit einem ersten fetten Verbrennungslambda (λ_{F1}) so lange, bis ein Sauerstoffspeicher des nachgeschalteten Katalysators (18) zumindest weitgehend sauerstofffrei ist, und

(b) in einer anschließenden zweiten Phase (τ_2) Betreiben der Verbrennungskraftmaschine (10) alternierend in Magerintervallen (τ_M) mit einem mageren Verbrennungslambda (λ_M) und in Fettintervallen (τ_F) mit einem zweiten fetten Verbrennungslambda (λ_{F2}), durchführbar sind.

24. Vorrichtung nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, dass der Vorkatalysator (16) mit einer Schwefel-Speicherkomponente (17) zur reversiblen Einlagerung von Schwefel aus einem mageren Abgas ausgestattet ist.

25. Vorrichtung nach Anspruch 23 oder 24, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel eine Steuereinheit (26) umfassen, in der ein Algorithmus zur Durchführung des Verfahrens in digitaler Form hinterlegt ist.

26. Vorrichtung nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinheit (26) in eine Motorsteuerung (28) integriert ist.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen



- Leerseite -

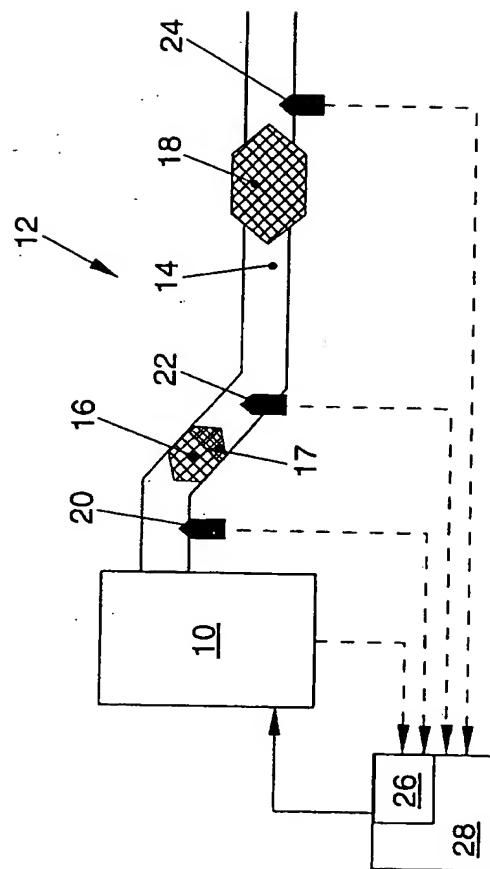


FIG. 1

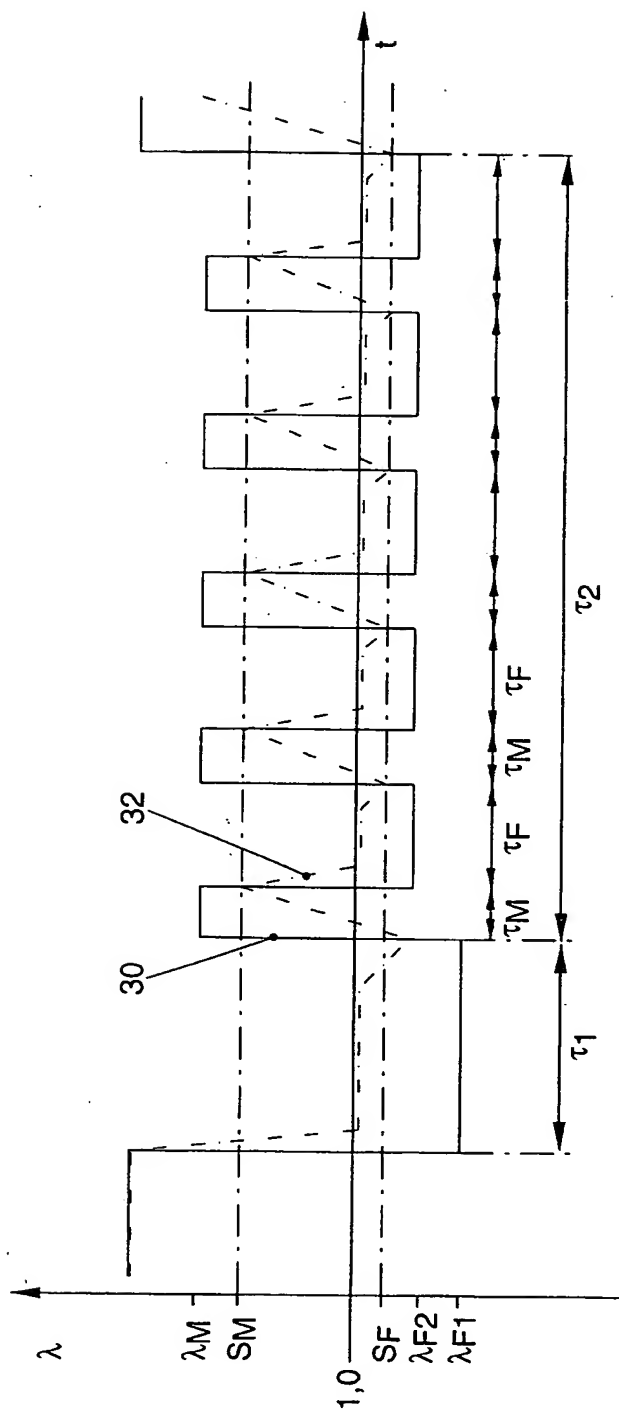


FIG. 2